

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **10270792 A**

(43) Date of publication of application: **09.10.98**

(51) Int. Cl

**H01S 3/18**

(21) Application number: **09074779**

(71) Applicant: **SHARP CORP**

(22) Date of filing: **27.03.97**

(72) Inventor: **TAKATANI KUNIHIRO**

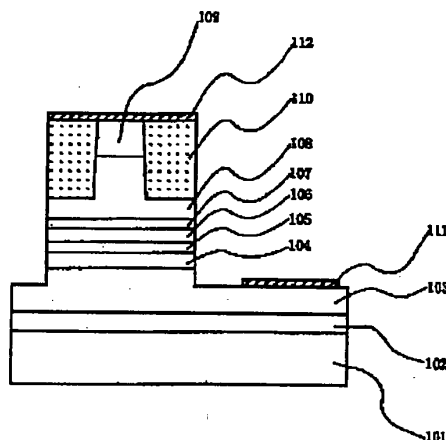
**(54) COMPOUND SEMICONDUCTOR LASER**

**(57) Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To improve a production yield by providing first and second clad layers, allowing a buried layer being insulative or of a first conductivity type being formed at both sides of a ridge part to be transparent to the oscillation wavelength of the laser, and achieving a refractive index that is nearly equal to that of the second clad layer.

**SOLUTION:** A buffer layer 102, a contact layer 103, a first clad layer 104, an optical confinement layer 105, an active layer 106, an optical confinement layer 107, a second clad layer 108, and a contact layer 109 are formed on a sapphire substrate 101. A mask is formed on the contact layer 109 and an etching is performed up to a specific depth of the contact layer 103, thus forming a mesa shape. Then, an etching is made again and a ridge structure is formed on the upper part of the mesa. Then, a first conductive-type buried layer 110 that is adjusted to have nearly the same refractive index as that of the second clad layer 108 is formed and a ridge part is buried, thus performing the side mode control of a laser by controlling a ridge width and improving a production yield.

**COPYRIGHT:** (C)1998,JPO





(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平 10-270792

(43)公開日 平成10年(1998)10月9日

(51)Int. Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数 8

O L

(全 11 頁)

(21)出願番号 特願平9-74779

(22)出願日 平成9年(1997)3月27日

(71)出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(72)発明者 高谷 邦啓

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ

ャープ株式会社内

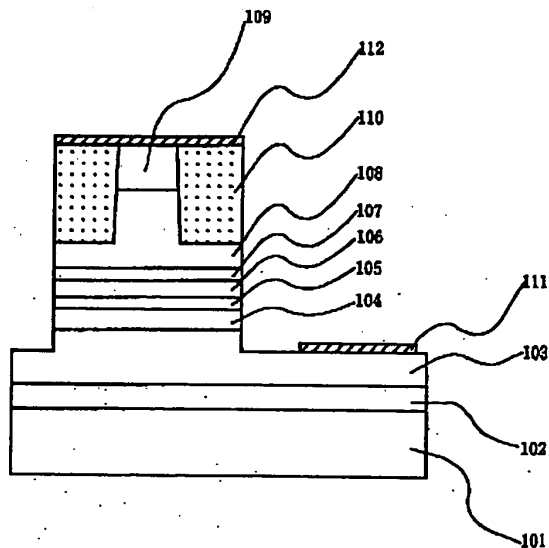
(74)代理人 弁理士 梅田 勝

(54)【発明の名称】化合物半導体レーザ

(57)【要約】

【課題】 エッチング量の変化に対して横モードが変化しないような素子構造を提供し、特性の揃ったリッジ導波型 I I I 族窒化物半導体レーザを効率よく製作することを可能にする。

【解決手段】 I I I 族窒化物半導体からなる半導体レーザにおいて、基板上に第1の導電性を有する第1クラッド層と、活性層と、第2の導電性を有する第2クラッド層と、第2の導電性を有するコンタクト層とが積層されており、かつ活性層上方構造の一部において第2クラッド層上部のみもしくは第2クラッド層上部ないしコンタクト層がリッジ状に形成された構造であって、リッジ部の両側に形成される絶縁性もしくは第1の導電性を有する埋込層がレーザの発振波長に対して透明で、かつ第2クラッド層と概略同じ屈折率を有することを特徴とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 III族窒化物半導体からなる半導体レーザにおいて、基板上に第1の導電型を有する第1クラッド層と、活性層と、第2の導電型を有する第2クラッド層と、第2の導電型を有するコンタクト層とが積層されており、かつ活性層上方構造の一部において第2クラッド層上部のみもしくは第2クラッド層上部ないしコンタクト層がリッジ状に形成された構造であって、リッジ部の両側に形成される絶縁性もしくは第1の導電型を有する埋込層がレーザの発振波長に対して透明で、かつ第2クラッド層と概略同じ屈折率を有することを特徴とする化合物半導体レーザ。

【請求項2】 III族窒化物半導体からなる半導体レーザにおいて、基板上に第1の導電型を有する第1クラッド層と、活性層と、第2の導電型を有する第2クラッド層と、第2の導電型を有し第2クラッド層よりも高い屈折率を示す光ガイド層と、第2の導電型を有する第3クラッド層と、第2の導電型を有するコンタクト層とが積層されており、かつ活性層上方構造の一部において第2クラッド層内の任意の位置ないし第3クラッド層、もしくは第2クラッド層内の任意の位置ないしコンタクト層がリッジ状に形成された構造であって、リッジ部の両側に形成される絶縁性もしくは第1の導電型を有する埋込層がレーザの発振波長に対して透明で、かつ第2クラッド層と概略同じ屈折率を有することを特徴とする化合物半導体レーザ。

【請求項3】 前記光ガイド層が、InGaAlNからなることを特徴とする請求項2に記載の半導体レーザ。

【請求項4】 前記埋込層が、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{HfO}_2$ 、 $\text{CeO}_2$ 、 $\text{In}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Nd}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Sb}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SnO}_2$ 、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{ZnO}$ のうち少なくとも1種類以上を含む誘電体膜であることを特徴とする請求項1、2または3のいずれかに記載の化合物半導体レーザ。

【請求項5】 前記埋込層が、 $\text{ZnMgCdSSe}$ 化合物半導体であることを特徴とする請求項1、2または3のいずれかに記載の化合物半導体レーザ。

【請求項6】 前記埋込層が、第2クラッド層と概略同組成の半導体であることを特徴とする請求項1、2または3のいずれかに記載の化合物半導体レーザ。

【請求項7】 III族窒化物半導体からなる半導体レーザにおいて、基板上に第1の導電型を有する第1クラッド層と、活性層と、第2の導電型を有する第2クラッド層と、絶縁性もしくは第1の導電型を有し第2クラッド層よりも低い屈折率を示す光反射層と、第2の導電型を有する第3クラッド層と、第2の導電型を有するコンタクト層とが積層されており、かつ活性層上方構造の一部において第2クラッド層内の任意の位置ないし第3クラッド層、もしくは第2クラッド層内の任意の位置ないしコンタクト層が凹状に形成された構造であって、凹部の内側に形成される埋込層が第2の導電型を有しかつ第

2クラッド層と概略同組成の半導体であることを特徴とする化合物半導体レーザ。

【請求項8】 前記光反射層が、InGaAlNからなることを特徴とする請求項7に記載の化合物半導体レーザ。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体レーザIII族窒化物半導体からなる半導体レーザに関する。

【0002】

【従来の技術】図2は、従来のリッジ導波路型III族窒化物系半導体レーザを示す断面概略図である。図2の半導体レーザは、まずサファイア基板201上のGaNBuffers層202、n-GaNコンタクト層203、n-GaN緩衝層204、n-AlGaInクラッド層205、n-GaNガイド層206、InGaIn系MQW活性層207、p-AlGaInキャップ層208、p-GaNガイド層209、p-AlGaInクラッド層210、p-GaNコンタクト層211からなる積層構造を有する。サファイア基板は絶縁性であるので、n型電極を付設する領域を露出するために素子の一部はn型コンタクト層203まで掘り下げられている。また、メサ構造の一部はリッジ導波路を形成するためにp型クラッド層210まで掘り下げられる。これらの加工には、ドライエッチング法が用いられ、エッチング部分の保護として、 $\text{SiO}_2$ 保護膜214が付加されている。

【0003】図10は、光ガイド層の無い素子構造における、p-クラッド層残し膜厚とストライプ内外の実効屈折率差（従来例）、及び、エッチング部をp-クラッド層と同じ屈折率を持つ材料で埋め込んだ場合のストライプ内外の実効屈折率差（本発明）の比較を示す図である。従来のリッジ導波路型III族窒化物系半導体レーザでは、図10中に示したように、リッジ部とリッジ外部に於けるp-AlGaInクラッド層210の厚さの違いによる屈折率差を利用して、図2の(A)部と同(B)部での実効的な屈折分布を形成し、横モードの制御を行っているものである。図2の(B)部の実効的な屈折率制御はエッチングせずに残すp-AlGaIn層211の膜厚を調節することにより行われる。

【0004】これにより、室温で連続通電により、垂直方向の光放射角 $=34^\circ$ 、水平方向の光放射角 $=7^\circ$ の光学的特性が得られている。また、室温・連続通電における素子寿命は35時間程度が得られている。図8はこれを示すもので、従来のリッジ導波路型III族窒化物系半導体レーザの室温・連続通電時の動作電流の変化を示している。

【0005】

【本発明が解決しようとする課題】しかしながら、図2に示したような従来のリッジ導波路型III族窒化物系半導体レーザには、横モード特性の揃った半導体レーザを

10

20

30

40

50

歩留りよく製作することが極めて困難であるという問題があった。なぜなら、III族窒化物半導体には適切な化学エッチング液が存在しないためエッチングにはRIEやRIBEなどのドライエッチングが用いられるのであるが、適切なエッチストップ層が存在しないので、図2の(B)部のp-AlGaIn層211の膜厚制御を時間制御により行うなどの精度の低い手法をとらざるを得ず、そのために該AlGaIn層211の膜厚がロットごと、あるいは同一ウェハの面内でばらついて横モードの制御性を著しく損ない、生産歩留まりが低下してしまう。

【0006】更なる問題点として、室温・連続通電における素子寿命が短いことが挙げられる。これは、ストライプ状リッジ形状を形成する際の加工方法にドライエッチングを用いているため、エッチングされる半導体層の側面及び底面は損傷を受け、結晶欠陥を生じることと、リッジ側面及びリッジ外部のp-AlGaInクラッド層上をSiO<sub>2</sub>保護膜で覆っているが、SiO<sub>2</sub>にはピンホールが多く存在し、実質上、当該結晶面の保護を充分に行えないことが原因であることを、筆者らは確認した。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記の問題を解決するために、本発明では、エッチング量の変化に対して横モードが変化しないような素子構造を提供し、特性の揃ったリッジ導波型III族窒化物半導体レーザを効率よく製作することを可能にする。

【0008】更に、エッチングにより形成したリッジ状ストライプ外部にピンホールが少ない誘電体層、または、半導体層を厚く形成し実質上リッジ状ストライプを埋め込む構造とすることにより、エッチング加工時に生じた損傷による結晶欠陥が、連続通電動作によっても活性層へ伝搬せず、動作寿命を格段に向上した素子を実現する。

【0009】または、エッチングにより形成した凹状溝部を電流通路とするため、または、半導体層で埋め込む構造とすることによっても、エッチング加工時に生じた損傷による結晶欠陥が、連続通電動作によっても活性層へ伝搬せず、動作寿命を格段に向上した素子を実現する。

【0010】即ち本発明における半導体レーザは、基板上に第1の導電型を有する第1クラッド層と、活性層と、第2の導電型を有する第2クラッド層と、第2の導電型を有するコンタクト層とが積層されており、かつ活性層上方構造の一部において第2クラッド層上部のみもしくは第2クラッド層上部ないしコンタクト層がリッジ状に形成された構造であって、リッジ部の両側に形成される絶縁性もしくは第1の導電型を有する埋込層がレーザの発振波長に対して透明で、かつ第2クラッド層と概略同じ屈折率を有することを特徴とし、前記埋込層が、TiO<sub>2</sub>、ZrO<sub>2</sub>、HfO<sub>2</sub>、CeO<sub>2</sub>、In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Nd

2O<sub>3</sub>、Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SnO<sub>2</sub>、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、ZnOのうち少なくとも1種類以上を含む誘電体であることを特徴とし、または、前記埋込層が、ZnMgCdSSe化合物半導体であることを特徴とし、または、前記の埋込層が、第2クラッド層と概略同組成の半導体であることを特徴とする。

【0011】上記のような構造をとることにより、図10中に示したように、リッジ部内外での屈折率差はなくなる。一方、リッジ埋込層の電流狭窄作用により、活性層におけるリッジ直下部と埋込層直下部で利得差が生じ、その結果、横モードの制御がなされる。該構造においては、リッジ形成のためのエッチングプロセスのエッチング深さに対する誤差許容範囲が広く、横モード制御性が安定し、特性の揃ったレーザ素子の生産歩留まりが向上する。

【0012】また、これらの埋め込み材料はレーザの発振波長に対して透明なので光吸収による熱の発生などがなく、第2クラッド層と概略同じ屈折率を有するのでレーザの横モードに影響を与えず、埋込層として適している。さらに、エッチングにより形成したリッジ状ストライプ部を、前記埋込層により埋め込むため、エッチング加工時に生じた損傷による結晶欠陥が、連続通電動作によっても活性層へ伝搬せず、動作寿命を格段に向上した素子を実現する。さらに、前記埋込層の材料として第2クラッド層と概略同組成のIII族窒化物半導体を用いた場合には埋込層と他のエピタキシャル層との間の格子定数差が解消されるので、熱歪みなどの応力が素子に与える影響を回避することが可能になる。

【0013】また、本発明における半導体レーザの別の形態は、基板上に第1の導電型を有する第1クラッド層と、活性層と、第2の導電型を有する第2クラッド層と、第2の導電型を有し第2クラッド層よりも高い屈折率を示す光ガイド層と、第2の導電型を有する第3クラッド層と、第2の導電型を有するコンタクト層とが積層されており、かつ活性層上方構造の一部において第2クラッド層内の任意の位置ないし第3クラッド層、もしくは第2クラッド層内の任意の位置ないしコンタクト層がリッジ状に形成された構造であって、リッジ部の両側に形成される絶縁性もしくは第1の導電型を有する埋込層がレーザの発振波長に対して透明で、かつ第2クラッド層と概略同じ屈折率を有することを特徴とし、前記光ガイド層が、InGaAlNからなることを特徴とし、または、前記埋込層が、TiO<sub>2</sub>、ZrO<sub>2</sub>、HfO<sub>2</sub>、CeO<sub>2</sub>、In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SnO<sub>2</sub>、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、ZnOのうち少なくとも1種類以上を含む誘電体膜であることを特徴とし、または、前記埋込層が、ZnMgCdSSe化合物半導体であることを特徴とし、または、前記の埋込層が、第2クラッド層と概略同組成の半導体であることを特徴とする。

【0014】図11は、光ガイド層の有る素子構造にお

ける、p-クラッド層残し膜厚とストライプ内外の実効屈折率差（従来例）、及び、エッチング部をp-クラッド層と同じ屈折率を持つ材料で埋め込んだ場合のストライプ内外の実効屈折率差（本発明）の比較を示す図であって、上記のように光ガイド層がリッジ部に包含された構造をとることにより、図11中に示したように、リッジ内部の実効的な屈折率が大きくなり、したがって横方向の光分布界がより中央へ集中するようになり、前記の利得差を利用したリッジ導波型レーザよりも横モード制御が容易になる。埋込層がない、あるいは埋込層の屈折率が第2クラッド層と異なる場合には、リッジ外部の第2クラッド層の厚さ（エッチング残し膜厚）がリッジ外部での実効屈折率の値に関与し、レーザの特性に大きく影響する。

【0015】しかしながら本発明に係る構造では埋込層の屈折率が第2クラッド層と同じなのでリッジ外部の第2クラッド層の厚さ（エッチング残し膜厚）がリッジ外部での実効屈折率に影響を与えることはなく、したがってエッチング深さを精密に制御する必要がなく、そのエッチング深さは少なくとも光ガイド層がリッジ内部に存在するように光ガイド層-第2クラッド層界面に達していればよい。またオーバーエッチしてもエッチング底面が第2クラッド層内部にあるようにすればよいので、エッチング時の誤差許容範囲が大きく、横モード制御性が安定し、レーザの生産歩留まりが向上する。

【0016】また、本発明における半導体レーザの更に別の形態は、基板上に第1の導電性を有する第1クラッド層と、活性層と、第2の導電性を有する第2クラッド層と、絶縁性もしくは第1の導電性を有し第2クラッド層よりも低い屈折率を示す光反射層と、第2の導電性を有する第3クラッド層と、第2の導電性を有するコンタクト層とが積層されており、かつ活性層上方構造の一部において第2クラッド層内の任意の位置ないし第3クラッド層、もしくは第2クラッド層内の任意の位置ないしコンタクト層が凹状に形成された構造であって、凹部の内側に形成される埋込層が第2の導電性を有しかつ第2クラッド層と概略同組成の半導体であることを特徴とし、また、前記光反射層が、InGaAlNからなることを特徴とする。

【0017】上記のように絶縁性もしくは第1の導電性を有し、第2クラッド層よりも低い屈折率を示す半導体層が凹構造の溝以外の部分に包含された構造をとることにより、素子電流は凹構造の溝部分へと集中し、レーザの横方向に対して利得分布が生じるようになり、更に、実効的な屈折率は凹構造の溝部分が他に比べて相対的に大きくなり、横方向の光分布界がより中央へ集中するようになり、前記の利得分布の効果と併せてレーザの横モード制御が容易になる。

【0018】また、第2クラッド層上に積層される第2クラッド層よりも低い屈折率を示す半導体層の材料とし

てInGaAlNを用いることにより、該層上に連続して成長する各III族窒化物層が、欠陥の発生を抑止しつつエピタキシャル成長でき、レーザの信頼性向上につながる。

【0019】

【発明の実施の形態】以下に、本発明の実施例を図面を参照しながら説明する。

【0020】図1は、本発明の第1の実施例に係る半導体レーザの断面構造をあらわす概略図、図3は製造過程を示す模式図である。

【0021】本実施例のレーザダイオードは以下のようなプロセスにより形成された。まず有機金属気相成長(MOCVD)法により、(0001)面方位(C面)を有するサファイア基板101上に、アンドープのGaNバッファ層102を20nmと、n型の導電性を有する(以下n-と記す)GaNコンタクト層103を5μmと、n-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nクラッド層104を1μmと、n-GaN光閉じ込め層105を0.1μmと、InGaAlN系MQW構造による活性層106と、p型の導電性を有する(以下p-と記す)GaN光閉じ込め層107を0.1μmと、p-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nクラッド層108を1μmと、p-GaNコンタクト層109を0.5μmと、を順次エピタキシャル成長させる(図3(A))。

【0022】次に、p-コンタクト層109の一部にマスキングM1を施し、被マスク部以外のエピタキシャル層をn-コンタクト層103中の適当な深さまでドライエッチングし、メサ形状を形成する(図3(B))。

【0023】更に、前記マスクを剥離後、メサ頂上の一部および前のエッチングにより露出したn-コンタクト層103面の全面をマスクM2により被覆し、再度ドライエッチングを施して、メサ上部にリッジ構造を形成する。このときエッチングの深さはp-クラッド層108中のいずれかの位置までとし、残し膜厚を制御する必要はない(図3(C))。

【0024】続いて電子ビーム(EB)蒸着法により、TiO<sub>2</sub>とZrO<sub>2</sub>の混合物を素子上面から蒸着する。蒸着膜の厚さは、蒸着膜の表面がリッジ上面と同じ高さになる厚さとする。すなわち、TiO<sub>2</sub>とZrO<sub>2</sub>の混合物からなる埋込層110により、リッジ部を埋め込む(図3(D))。

【0025】最後にマスクM2及びリッジ上のTiO<sub>2</sub>とZrO<sub>2</sub>の混合物、n-GaNコンタクト層103状に形成されているマスクM1及びマスクM1上のTiO<sub>2</sub>とZrO<sub>2</sub>の混合物を除去し、n-電極111及びp-電極112を形成し、図1のリッジ導波型レーザ構造が完成する。

【0026】本実施例の半導体レーザでは、活性層106から発する光の波長は520nmとなるように設計した。この波長に対するp-クラッド層108の屈折率は

およそ2.33であるので、埋込層の誘電体は、 $\text{TiO}_2$  (屈折率=2.35)と $\text{ZrO}_2$  (屈折率=2.05)を混合物とし、蒸着された混合膜の波長520nmにおける屈折率が2.33になるように調整した。活性層の設計変更により発振波長が変化した場合にはp-クラッド層108の屈折率も変化するが、その時は埋込層も $\text{TiO}_2$ と $\text{ZrO}_2$ の混合比を変更したり、あるいは蒸着条件を変えたりして屈折率を変化させればよい。また、誘電体の種類は $\text{TiO}_2$ や $\text{ZrO}_2$ に限られるものではなく、レーザの発振波長に対して透明であればどのような誘電体を用いられてもよい。また誘電体膜の形成方法もEB蒸着法に限られるものでは勿論なく、スパッタリング法やその他の薄膜形成プロセスが用いられても構わない。

【0027】以上のように形成された本実施例の埋め込みリッジ導波型半導体レーザでは、電流は絶縁体である誘電体埋込層110により狭窄され、リッジ部直下の活性層に集中するため、利得分布が生じる。一方、埋込層の屈折率はp-クラッド層のそれと等しいため、活性層で発した光は屈折率分布を感じない。したがって該レーザの横モード制御はリッジ幅の制御によりなされればよいので容易であり、またドライエッチングによるp-クラッド層108の残し膜厚を精密に制御する必要がないのでエッチング誤差の許容範囲が広がり、生産歩留まりが向上する。

【0028】さらに、エッチングにより形成したリッジ状ストライプ部を、 $\text{TiO}_2$ と $\text{ZrO}_2$ の混合物からなる埋込層110により埋め込んだため、エッチング加工時に生じた損傷による結晶欠陥が、連続通電動作によっても活性層へ伝搬せず、動作寿命を格段に向上した素子が実現できた。

【0029】図4は、本発明の第2の実施例に係る半導体レーザの断面構造をあらわす概略図である。本実施例のレーザダイオードは絶縁性基板を用いているため、その形成プロセスは実施例1とほぼ同様の加工工程を有する。まずMOCVD法により、(0001)面方位(C面)を有するサファイア基板401上に、アンドープのGaNバッファ層402を20nmと、n-GaNコンタクト層403を5 $\mu\text{m}$ と、n- $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 第1クラッド層404を1 $\mu\text{m}$ と、n-GaN光閉じ込め層405を0.1 $\mu\text{m}$ と、InGaN系MQW構造による活性層406と、p- $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 蒸発防止層407を0.05 $\mu\text{m}$ と、p-GaN光閉じ込め層408を0.1 $\mu\text{m}$ と、p- $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 第2クラッド層409を0.2 $\mu\text{m}$ と、p-GaN光ガイド層410を0.05 $\mu\text{m}$ と、p- $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 第3クラッド層411を0.8 $\mu\text{m}$ と、p-GaNコンタクト層412を0.5 $\mu\text{m}$ とを順次エピタキシャル成長させる。

【0030】次に、p-コンタクト層412の一部にマスキングM1を施し、被マスク部以外のエピタキシャル

層をn-コンタクト層403中の適当な深さまでドライエッチングし、メサ形状を形成する。更に、前記マスクM1を剥離後、メサ頂上の一部および前のエッチングにより露出したn-コンタクト層403面の全面をマスクM2により被覆し、再度ドライエッチングを施して、メサ上部にリッジ構造を形成する。このときエッチングの深さはp-第2クラッド層409中のいずれかの位置までとし、残し膜厚を制御する必要はない。続いて分子線エピタキシ(MBE)法により、ClドープZnMgSSe化合物を素子上面から成膜する。該化合物層の厚さは、層の表面がリッジ上面と同じ高さになる厚さとする。即ちZnMgSSeからなる埋込層413により、リッジ部を埋め込む。

【0031】最後にマスクM1、マスクM2及びマスクM1、マスクM2上のClドープZnMgSSe化合物を除去し、n-電極414及びp-電極415を形成し、図4のリッジ導波型レーザ構造が完成する。本実施例の半導体レーザでは、活性層406から発する光の波長は410nmとなるように設計した。この波長に対するp-第2クラッド層409の屈折率はおおよそ2.50であるので、埋込層のZnMgSSeの各元素の組成比はエネルギーギャップが3.03eV以上、屈折率は2.50となるように調節されている。活性層の設計変更により発振波長が変化した場合にはp-第2クラッド層409の屈折率も変化するが、その時は埋込層もZnMgSSeの組成比を変更して屈折率を変化させればよい。また、埋込に用いるII-VI族半導体の種類はZnMgSSeに限られるものではなく、たとえばZnCdSeなどが用いられてもよい。またII-VI族半導体膜の形成方法もMBE法によるエピタキシャル成長に限られるものでは勿論なく、スパッタリング法やその他の薄膜形成プロセスが用いられても構わない。

【0032】以上のように形成された本実施例のリッジ導波型半導体レーザでは、電流はn型の導電型を示すClドープZnMgSSe埋込層413により狭窄され、リッジ部直下の活性層に集中するため、利得分布が生じる。一方、リッジ内部に形成された光ガイド層410は屈折率がp-第2クラッド層409及び埋込層413に対して大きく、またリッジ外では光ガイド層410が取り除かれているため、リッジ内外で実効的な屈折率に分布が生じる。したがって、光ガイド層を有さない第1の実施例に比べて、リッジ直下部への光閉じ込めの効率がよくなり、横モード制御がより容易になる。またドライエッチングによるリッジ形成においては、エッチング底面が少なくとも光ガイド層410とp-第2クラッド層409の界面に達していればよく、光閉じ込め層408に達しなければオーバーエッチも許容されるので、残し膜厚を精密に制御する必要がなくなり、生産歩留まりが向上する。

【0033】さらに、エッチングにより形成したリッジ

状ストライプ部を、 $\text{ZnMgSSe}$ からなる埋込層413により埋め込んだため、エッチング加工時に生じた損傷による結晶欠陥が、連続通電動作によっても活性層へ伝搬せず、動作寿命を格段に向上した素子の実現できた。

【0034】図5は、本発明の第3の実施例に係る半導体レーザの断面構造をあらわす概略図である。本実施例のレーザダイオードは以下のようなプロセスにより形成された。まずMOCVD法により、 $n\text{-SiC}$ 基板501上に、アンドープの $\text{GaN}$ バッファ層502を20nmと、 $n\text{-Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 第1クラッド層503を1 $\mu\text{m}$ と、 $n\text{-GaN}$ 光閉じ込め層504を0.1 $\mu\text{m}$ と、 $\text{InGaIn}$ 系MQW構造による活性層505と、 $p\text{-Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 蒸発防止層506を0.05 $\mu\text{m}$ と、 $p\text{-GaN}$ 光閉じ込め層507を0.1 $\mu\text{m}$ と、 $p\text{-Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 第2クラッド層508を0.2 $\mu\text{m}$ と、 $p\text{-Al}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ 光ガイド層509を0.05 $\mu\text{m}$ と、 $p\text{-Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 第3クラッド層510を0.8 $\mu\text{m}$ と、 $p\text{-GaN}$ コンタクト層511を0.5 $\mu\text{m}$ とを順次エピタキシャル成長させる。次に、 $p\text{-コンタクト層511}$ の一部にマスクを施し、被マスク部以外のエピタキシャル層をドライエッチングして、リッジ構造を形成する。このときエッチングの深さは $p\text{-第2クラッド層508}$ 中のいずれかの位置までとし、残し膜厚を制御する必要はない。続いて、リッジ上部にマスクを残したままMOCVD法による選択成長により、 $n\text{-Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 層をリッジ側面にのみ成膜する。該 $\text{AlGaIn}$ 層の厚さは、層の表面がリッジ上面と同じ高さになる厚さとする。即ち $n\text{-Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ からなる埋込層512により、リッジ部を埋め込む。最後にマスクを除去し、基板裏面に $n\text{-電極513}$ を、素子上面に $p\text{-電極514}$ を形成し、図5のリッジ導波型レーザ構造が完成する。

【0035】本実施例の半導体レーザでは、活性層505から発する光の波長は450nmとなるように設計した。この波長に対する $p\text{-第2クラッド層508}$ の屈折率はおおよそ2.45である。本実施例においては、埋込層512は $p\text{-第2クラッド層508}$ と導電型が異なるだけで同一の組成であり、該埋込層の屈折率はおおよそ2.45であり、発振波長に対して透明である。したがって本実施例のリッジ導波型半導体レーザでは、素子電流は $n\text{-AlGaIn}$ 埋込層512により狭窄され、リッジ部直下の活性層に集中するため、利得分布が生じる。一方、リッジ内部に形成された光ガイド層509は屈折率が $p\text{-第2クラッド層508}$ 及び埋込層412に対して大きく、またリッジ外では光ガイド層410が取り除かれているため、リッジ内外で実効的な屈折率に分布が生じる。したがって第2の実施例と同様、リッジ直下部への光閉じ込めの効率がよくなり、横モード制御がより容易になる。またドライエッチングによるリッジ形成

においては、エッチング底面が少なくとも光ガイド層509と $p\text{-第2クラッド層508}$ の界面に達していればよく、光閉じ込め層507に達しなければオーバーエッチも許容されるので、残し膜厚を精密に制御する必要がなくなり、生産歩留まりが向上する。

【0036】図6は、本発明の第4の実施例に係る半導体レーザの断面構造をあらわす概略図、図7は製造過程を示す模式図である。

【0037】本実施例のレーザダイオードは以下のようなプロセスにより形成された。まずMOCVD法により、 $n\text{-GaIn}$ 基板601上に、アンドープの $\text{GaIn}$ バッファ層602を20nmと、 $n\text{-Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 第1クラッド層603を1 $\mu\text{m}$ と、 $n\text{-GaIn}$ 光閉じ込め層604を0.1 $\mu\text{m}$ と、 $\text{InGaIn}$ 系MQW構造による活性層605と、 $p\text{-Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 蒸発防止層606を0.05 $\mu\text{m}$ と、 $p\text{-GaIn}$ 光閉じ込め層607を0.1 $\mu\text{m}$ と、 $p\text{-Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 第2クラッド層608を0.2 $\mu\text{m}$ と、 $n\text{-Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ 光反射層609を0.1 $\mu\text{m}$ と、 $p\text{-Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 第3クラッド層610を0.7 $\mu\text{m}$ と、 $p\text{-GaIn}$ コンタクト層611を0.5 $\mu\text{m}$ と、を順次エピタキシャル成長させる(図7(A))。

【0038】次に、 $p\text{-コンタクト層611}$ の一部にマスクM1を施し、被マスク部以外のエピタキシャル層をドライエッチングして、凹構造を形成する。このときエッチングの深さは $p\text{-第2クラッド層608}$ 中のいずれかの位置までとし、残し膜厚を制御する必要はない(図7(B))。

【0039】続いて、凹部以外のマスクを残したままMOCVD法による選択成長により、凹構造の溝内部にのみ選択的に $p\text{-Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 層612を $p\text{-第3クラッド層610}$ と $p\text{-コンタクト層611}$ の界面付近まで、続いて $p\text{-GaIn}$ 層613を $p\text{-コンタクト層611}$ の表面近傍までエピタキシャル成長させる。即ち $p\text{-Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ からなる埋込層612により、凹構造の溝部を埋め込む(図7(C))。

【0040】最後にマスクM1を除去し、基板裏面に $n\text{-電極614}$ を、素子上面に $p\text{-電極615}$ を形成し、図6のレーザ構造が完成する。本実施例の半導体レーザでは、活性層605から発する光の波長は430nmとなるように設計した。本実施例においては、埋込層612は $p\text{-第2クラッド層608}$ と導電型も組成も同一であり、かつ凹構造の溝部分以外に付設されている光反射層609はその導電型の違いから電流阻止層となるため、素子電流は溝部直下の活性層に集中し、レーザの横方向に対して利得分布が生じる。一方、溝部以外に付設されている光反射層609は屈折率が $p\text{-第2クラッド層608}$ 及び埋込層612に対して小さく、また溝部では屈折率が一様であるので、溝部以外で光を感じる実効的な屈折率が小さいため、ストライプ構造の内外で実効



屈折率に分布が生じる。したがって、ストライプ部への光閉じ込めの効率がよくなり、横モード制御がより容易になる。またドライエッチングによる溝構造形成においては、エッチング底面が少なくとも光反射層609とp-第2クラッド層608の界面に達していればよく、光閉じ込め層607に達しなければオーバーエッチも許容されるので、残し膜厚を精密に制御する必要がなくなり、生産歩留まりが向上する。なお、上記の4実施例では種々の基板やバッファ層、光閉じ込め層など、請求の範囲にない構造が用いられているが、これらは特性のよいレーザ素子の形成のために用いられたものであって、リッジ部分の構造に関する本発明の実施に影響を及ぼすものではない。

#### 【0041】

【発明の効果】本発明によれば、従来のようにエッチングの残し膜厚によるリッジ導波型半導体レーザの横モード制御を行わないので、単一横モード特性を有する半導体レーザを高い生産歩留まりで作製することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例に係る半導体レーザの断面構造を示す模式図である。

【図2】従来の半導体レーザの断面構造を示す模式図である。

【図3】本発明の第1の実施例の半導体レーザの製作過程を示す模式図である。

【図4】本発明の第2の実施例に係る半導体レーザの断面構造を示す模式図である。

【図5】本発明の第3の実施例に係る半導体レーザの断面構造を示す模式図である。

【図6】本発明の第4の実施例に係る半導体レーザの断面構造を示す模式図である。

【図7】本発明の第4の実施例の半導体レーザの製作過程を示す模式図である。

【図8】従来の半導体レーザの室温・連続通電時の動作電流の変化を示す図である。

【図9】本発明の第1の実施例に係る半導体レーザの室

温・連続通電時の動作電流の変化を示す図である。

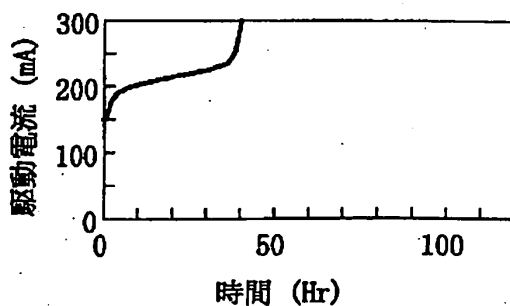
【図10】光ガイド層の無い素子構造における、p-クラッド層残し膜厚とストライプ内外の実効屈折率差を従来例、本発明を比較して示す図である。

【図11】光ガイド層の有る素子構造における、p-クラッド層残し膜厚とストライプ内外の実効屈折率差を従来例、本発明を比較して示す図である。

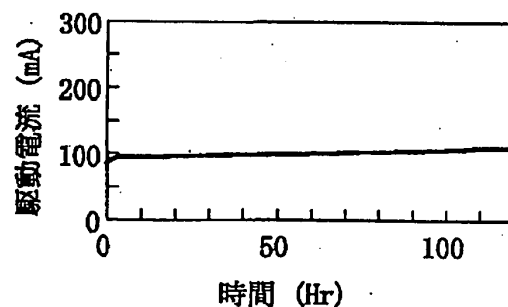
#### 【符号の説明】

- 101、401 サファイア基板
- 103、403 n-GaNコンタクト層
- 104 n-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層
- 105、405、504、604 n-GaN光閉じ込め層
- 106、406、505、605 InGa<sub>0.5</sub>N系多重量子井戸活性層
- 107、408、507、607 p-GaN光閉じ込め層
- 108 p-Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層
- 109、412、511、611 p-GaNコンタクト層
- 110 誘電体埋込層
- 404、503、603 n-Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N第1クラッド層
- 407、506、606 p-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N蒸発防止層
- 409、508、608 p-Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N第2クラッド層
- 410、509、609 p-GaN光ガイド層
- 411、510、610 p-Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N第3クラッド層
- 413 ClドープZnMgSSe埋込層
- 501 n-SiC基板
- 512 n-Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N埋込層
- 601 n-GaN基板
- 612 p-Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N埋込層
- 613 p-GaN層

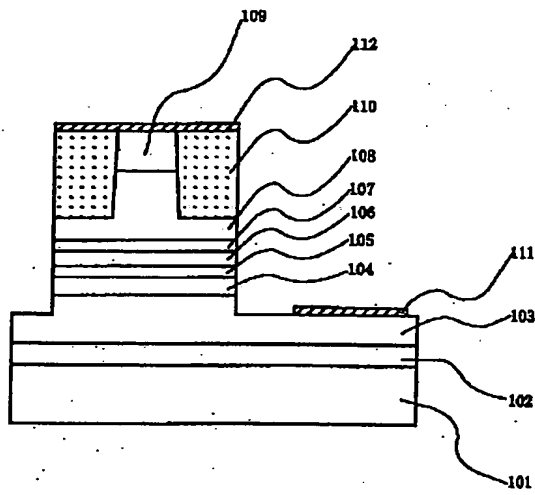
【図8】



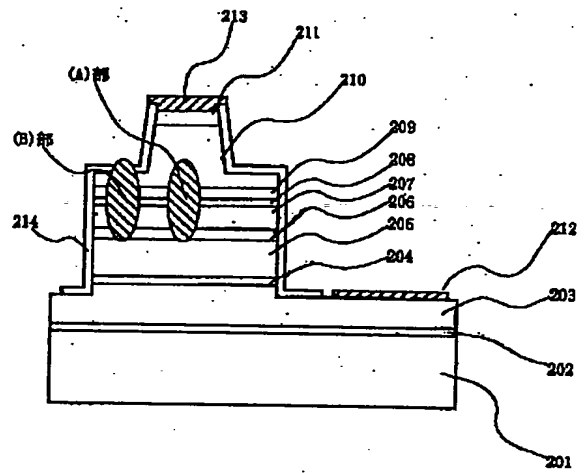
【図9】



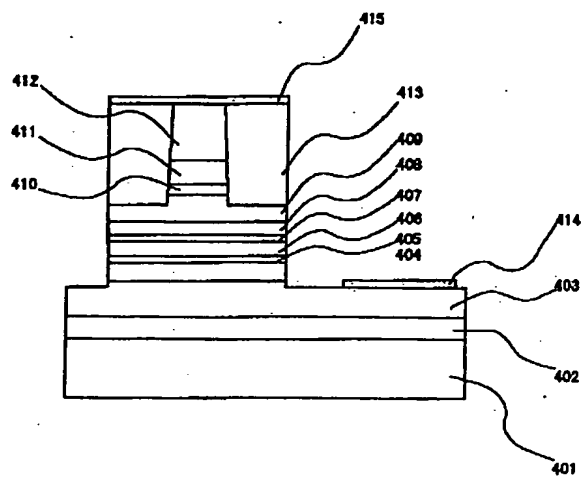
【図1】



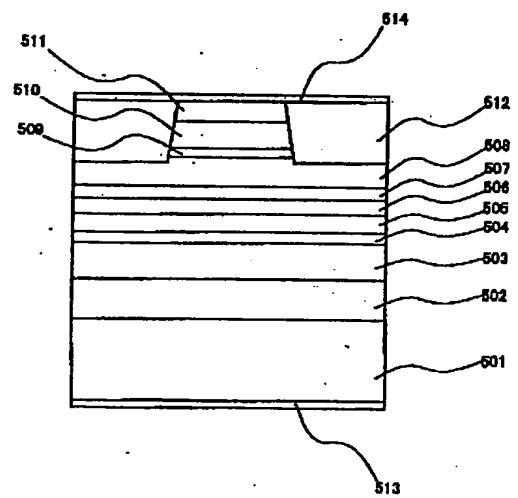
【図2】



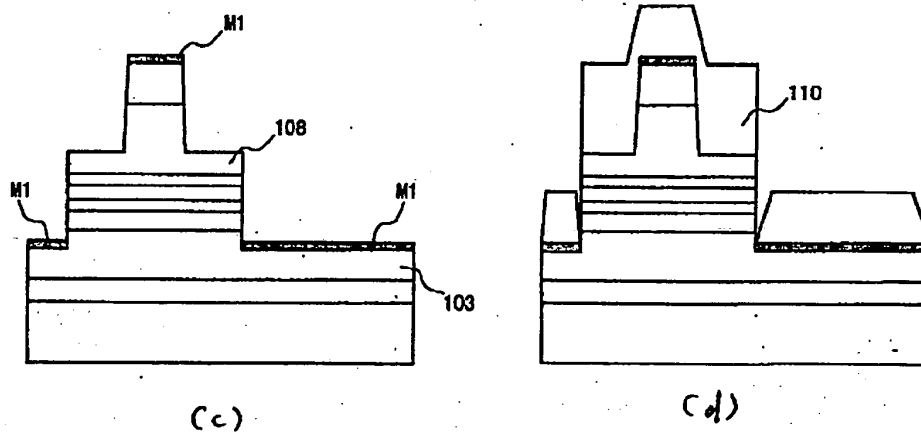
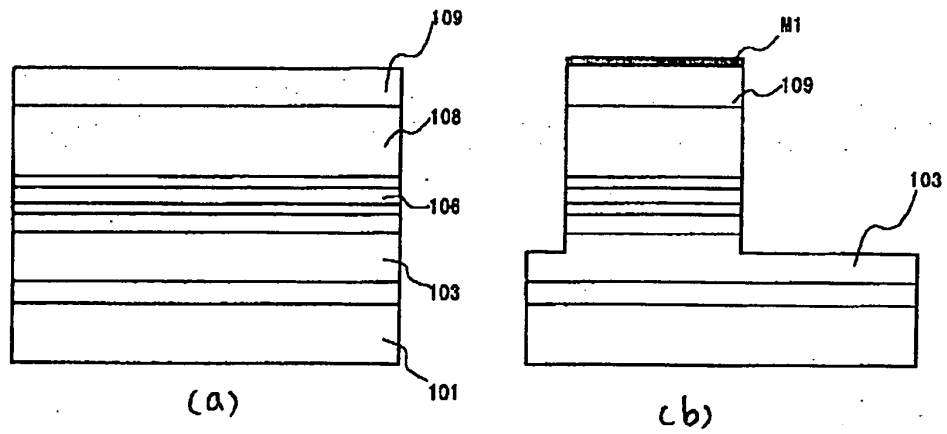
【図4】



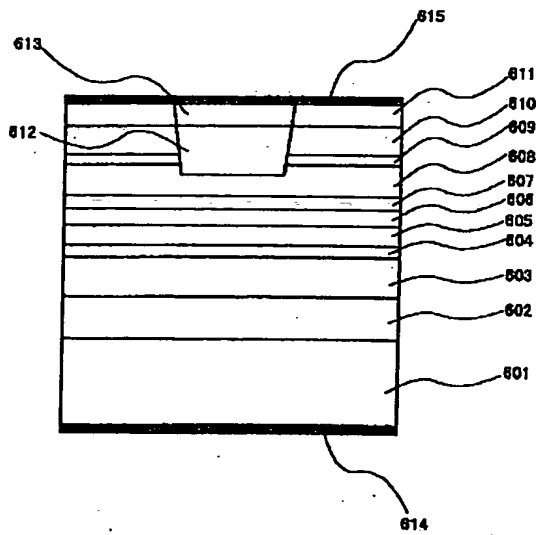
【図5】



【図3】

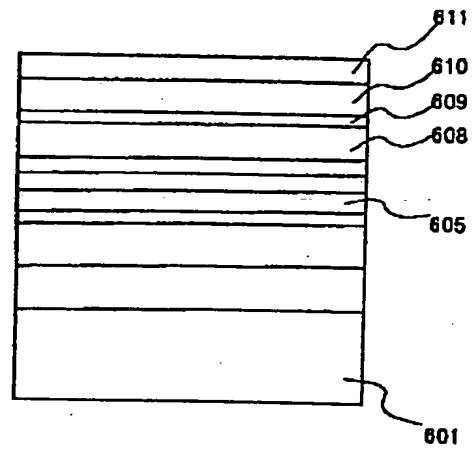


【図6】

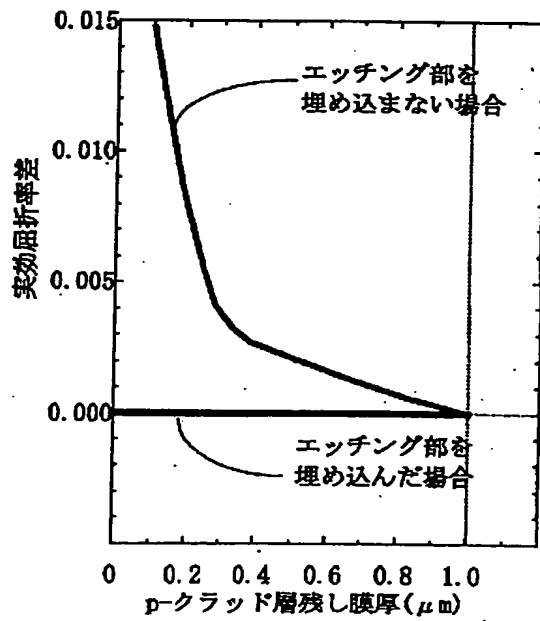


【図7】

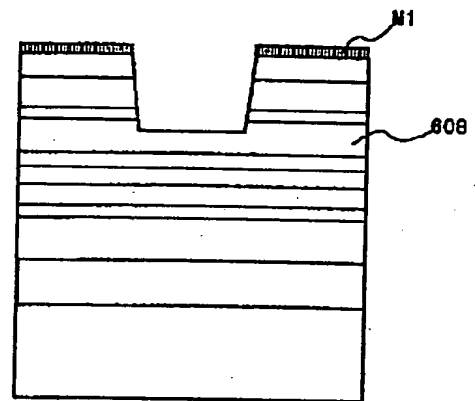
(a)



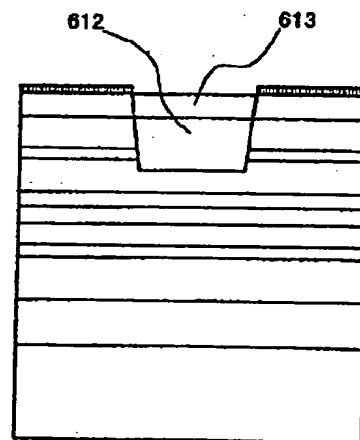
【図10】



(b)



(c)



【図11】

